

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO NO PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ENXUTA

José Antonio de Queiroz

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Av. BPS, 1.303, Bairro Pinheirinho, 37.500-000, Itajubá/MG
ja.queiroz@unifei.edu.br

Rafael de Carvalho Miranda

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Av. BPS, 1.303, Bairro Pinheirinho, 37.500-000, Itajubá/MG
mirandaprod@yahoo.com.br

Alexandre Fonseca Torres

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Av. BPS, 1.303, Bairro Pinheirinho, 37.500-000, Itajubá/MG
xande_92@hotmail.com

Alexandre Ferreira de Pinho

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Av. BPS, 1.303, Bairro Pinheirinho, 37.500-000, Itajubá/MG
pinho@unifei.edu.br

RESUMO

O objetivo é propor uma metodologia de integração das ferramentas VSM e SIMULAÇÃO, criando, assim, um modelo para o planejamento e a implantação dos sistemas de produção enxuta. Possivelmente, uma das maiores vantagens da simulação seja a de proporcionar uma visualização dos resultados esperados antecipadamente à implementação. A simulação permite, ainda, avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos simulados para responder questões como “o que ocorre se”. Diversos trabalhos defendem a utilização da simulação como ferramenta de apoio a implementação dos sistemas de produção enxuta. No entanto, nenhum apresenta uma metodologia estruturada para integração “VSM-SIMULAÇÃO”. Estudos recentes mostram que a integração “VSM-SIMULAÇÃO” é ainda pouco utilizada nas empresas, o que pode ser explicado pela própria inexistência de uma metodologia estruturada, o que justifica o desenvolvimento de uma metodologia de integração “VSM-SIMULAÇÃO” para o planejamento e a implantação dos sistemas de produção enxuta.

PALAVRAS CHAVE. Produção Enxuta, *Value Stream Mapping* (VSM), Simulação.

Área principal SIM

ABSTRACT

This article sets forth a methodological proposal which integrates Value Stream Mapping (VSM) and Discrete-Event Simulation (DES) in order to aid planning, scheduling and implementation in lean production systems. One of simulation's greatest advantages is its ability to forecast the results of numerous potential implementations. Simulation allows for the analysis and evaluation of real systems using computational models while aiming to respond to the ever-present question “What if...?” Much research has defended the use of simulation as a decision-making tool in lean production implementation. However, none of these investigations have proposed integration of VSM and DES. Recent studies have shown VSM-DES integration is not common in most enterprises, which could be explain by the lack of an integrated method, thus justifying the joint-use of VSM and DES in the implementation and planning of lean production systems.

KEY WORDS. Lean Production, *Value Stream Mapping* (VSM), Simulation.

Main area SIM

1. Introdução

O objetivo deste primeiro capítulo é apresentar:

- a definição do problema;
- a justificativa e importância;
- os objetivos gerais e específicos;

da pesquisa realizada.

Trata-se de um capítulo de preparação aos posteriores.

1.1. Definição do problema de pesquisa

Chu e Shih (1992) citam duas razões para aplicação da simulação à produção enxuta:

- facilitar a quebra de barreiras culturais e a disseminação da Cultura *Lean* na empresa, ao possibilitar a visualização antecipada e detalhada dos resultados esperados em cada estado futuro simulado;
- quantificar o desempenho dos sistemas produtivos enxutos e compará-lo com o desempenho de outros sistemas produtivos presentes nas empresas há tempos, destacando suas vantagens e limitações.

1.2. Justificativa e importância da pesquisa

Porém, embora as vantagens definidas por Chu e Shih (1992) indiquem a simulação como uma ferramenta promissora na disseminação da Cultura *Lean* e na aplicação do VSM, estudos recentes realizados por Sandanayake, Oduzoa e Proverbs (2008) mostram que a integração “VSM-SIMULAÇÃO” ainda é bem pouco utilizada e aproveitada pelas empresas. Uma das causas é a falta de uma metodologia que oriente e auxilie a integração e a aplicação destas ferramentas ao planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta.

1.3. Objetivos gerais e específicos da pesquisa

Do ponto de vista geral:

provar que a integração “VSM-SIMULAÇÃO” é possível, vantajosa e recomendada;

Do ponto de vista específico

sendo assim, define-se como objetivo específico desta pesquisa o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta que integrará as seguintes ferramentas de auxílio à tomada de decisão gerencial:

- VSM;
- Simulação.

Esta pesquisa se limitará à Simulação a Eventos Discretos em empresas de manufatura.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Produção Enxuta

2.1.1. Introdução à Produção Enxuta

Rother e Shook (1999) classificam as atividades em três grandes grupos:

1. Atividades que efetivamente criam valor às empresas;
2. Atividades que não criam valor, mas que ainda são necessárias;
3. Atividades que não criam valor, e que também não são mais necessárias.

Para Rother e Shook (1999), o foco da produção enxuta são as atividades tipos 2 e 3. As atividades do tipo 3 não são mais necessárias e devem ser eliminadas imediatamente, enquanto que as atividades do tipo 2 devem ser eliminadas tão logo seja possível às empresas.

Segundo Ghinato (2000), Taiichi Ohno, o criador do Sistema Toyota de Produção, propôs que os desperdícios, ou perdas, fossem classificados em sete grupos. O primeiro é o das perdas por superprodução por quantidade e/ou por antecipação, que segundo o próprio Taiichi Ohno, são as mais prejudiciais aos ambientes produtivos, uma vez que possuem a condição de provocar e esconder os outros seis desperdícios: espera dos lotes, dos processos de fabricação e/ou dos próprios operadores das máquinas; transporte das matérias-primas, dos materiais em elaboração e dos produtos acabados; processamento que aumenta os custos, mas não aumenta o valor oferecido aos clientes; estoques elevados de matérias-primas, materiais em elaboração e produtos acabados; movimentação

desnecessária dos operadores na execução das atividades operacionais; fabricação de produtos não-conformes que implicam em maiores retrabalhos, sucatas e custos. Queiroz e Rentes (2010), Demeter e Matyusz (2011) e Eroglu e Hofer (2011) detalham os prejuízos causados aos sistemas produtivos pela superprodução e pelos demais desperdícios.

2.1.2. Implantação da Produção Enxuta

o Value Stream Mapping (VSM)

Segundo Rother e Shook (1999), a produção enxuta é implementada pela aplicação do *Value Stream Mapping* (VSM), ou Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV). De acordo com os autores, o que se quer dizer por VSM/MFV é simples: siga a trilha da fabricação de uma família de produtos dos consumidores até os fornecedores, e desenhe os diferentes processos produtivos no fluxo de materiais e no fluxo de informações. Em seguida, formule um conjunto de questões-chaves alinhadas aos princípios enxutos. Para finalizar, mediante às respostas dadas às questões-chaves formuladas anteriormente, desenhe um mapa do estado futuro mostrando como o valor deve fluir nas empresas enxutas. Desta maneira, pode-se afirmar que o VSM/MFV é uma ferramenta que deve ser utilizada na busca de melhorias sistemáticas e permanentes que eliminem as causas-raízes dos desperdícios. A primeira etapa de aplicação do VSM/MFV é selecionar uma família de produtos. Uma família é composta de produtos que demandam processos e máquinas semelhantes. A segunda e a terceira etapas de aplicação do VSM/MFV são paralelas e consistem em desenhar os mapas dos estados atual e futuro à partir da coleta de dados no “chão-de-fábrica”. A quarta etapa de aplicação do VSM/MFV consiste em preparar um plano de implementação.

As questões-chaves para o desenho do mapa do estado futuro são discutidas a seguir:

1ª questão-chave: Qual é o *takt time*, que alinhará a produção à demanda por turno?

O objetivo é atender à demanda sem gerar superprodução por quantidade e/ou por antecipação. O *takt time* é calculado pela aplicação da EQ. (1):

$$takt\ time = \text{tempo de trabalho disponível [em segundos]} / \text{demanda [em unidades]} \quad (1)$$

2ª questão-chave: Produzir para supermercado de produtos acabados ou expedição?

Produzir para expedição exigirá um fluxo de valor confiável desde os pedidos até as entregas.

3ª questão-chave: Onde será possível estabelecer um fluxo contínuo entre as operações?

Trata-se da maneira mais eficiente de atender a demanda sem estimular a superprodução.

4ª questão-chave: Onde será necessário instalar sistemas puxados com supermercados?

Embora o fluxo contínuo, pela sua eficiência, deva ser perseguido sempre pelo VSM/MFV, normalmente ainda haverá a necessidade da produção em lotes em algumas das operações. Nestes casos, haverá a necessidade da instalação de sistemas puxados com supermercados. A FIG. 1 exemplifica o sistema puxado com supermercado.

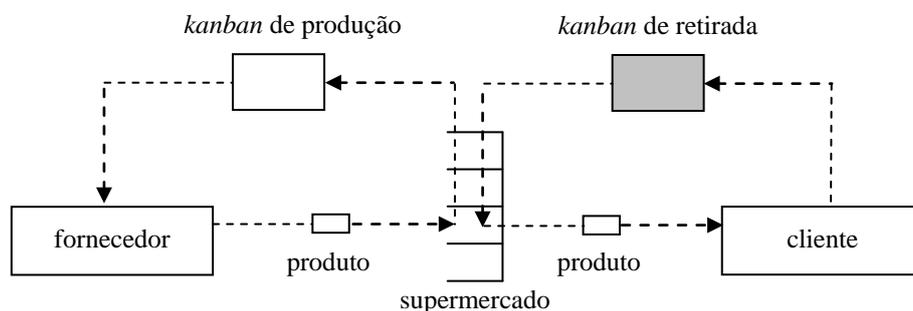


Figura 1 – Sistema puxado com base em supermercado. Fonte: Rother e Shook (1999)

O objetivo do sistema puxado é controlar firmemente todo o trabalho em processo, para que o processo anterior produza somente o quê, quanto e quando o seguinte necessitar. Marek, Elkins e Smith (2001) descrevem a atuação dos *kanbans* nestes sistemas puxados. De posse do(s) *kanban(s)* de retirada, o responsável pela movimentação de materiais vai até o supermercado do processo fornecedor e providencia a “compra” de um novo lote. O *kanban* de produção que estava fixado ao

lote comprado é enviado ao processo fornecedor, informando o quê, quanto e quando produzir para atender à demanda sem superprodução.

5ª questão-chave: Qual deverá ser o único ponto no fluxo de valor a ser programado?

O objetivo é programar um só ponto no fluxo de valor, da matéria-prima ao produto acabado. Este único ponto definirá e programará o ritmo da produção para os processos anteriores. Mas para que a programação da produção em um só ponto no fluxo de valor seja possível, será necessário que as transferências de materiais após tal ponto ocorreram em fluxo contínuo. Este único ponto de programação da produção no fluxo de valor chama-se: processo puxador.

6ª questão-chave: Como nivelar o *mix* (variedade) de produção no processo puxador?

O objetivo desta questão é responder às diferentes solicitações dos diferentes clientes com um *lead time* curto e um estoque de produtos acabados pequeno. Agrupar todos os produtos e produzi-los de uma só vez dificulta o atendimento daqueles clientes que querem algo diferente do lote que está sendo produzido no momento. Deste modo, quanto mais uma empresa nivela o seu *mix* de produção no processo puxador, mais preparada ela estará para responder às diferentes solicitações dos diferentes clientes com um *lead time* curto e um estoque de produtos acabados pequeno.

7ª questão-chave: Como nivelar também o volume de produção no processo puxador?

O objetivo, novamente, é responder às diferentes solicitações dos diferentes clientes com um *lead time* curto e um estoque de produtos acabados pequeno. Pode-se dizer que o nivelamento do *mix* e do volume de produção se complementam, sendo que o nivelamento do volume de produção consiste em liberar e retirar regularmente somente uma quantidade pequena e consistente de trabalho e de produto acabado no puxador. O nivelamento do *mix* e do volume de produção são alcançados com o *heijunka box*. A FIG. 2 exemplifica o funcionamento dos nivelamentos de *mix* e de volume no *heijunka box*. Para melhor compreensão do funcionamento e importância do *heijunka box*, faz-se necessário um estudo preliminar das diferentes variações existentes do sistema *kanban*, assunto muito bem abordado por Lage Junior e Godinho Filho (2010).

8ª oitava questão-chave: Onde é necessário a criação e a aplicação de eventos *kaizen*?

O objetivo é melhorar uma operação pela eliminação dos desperdícios e pela criação de valor. Este é o momento para registrar as melhorias necessárias para o fluxo de valor funcionar.

Marksberry *et al* (2010) detalham as diretrizes para a condução de eventos *kaizens*, enquanto Farris *et al*. (2009) e Glover *et al* (2011) destacam os fatores críticos de sucesso. Queiroz (2011) apresenta a simbologia desenvolvida por Rother e Shook (1999), enquanto Queiroz (2011), Queiroz e Rentes (2010) e Vinodh, Arvind e Somanaathan (2010), apresentam vários exemplos de aplicação do VSM/MFV em diferentes situações e empresas.

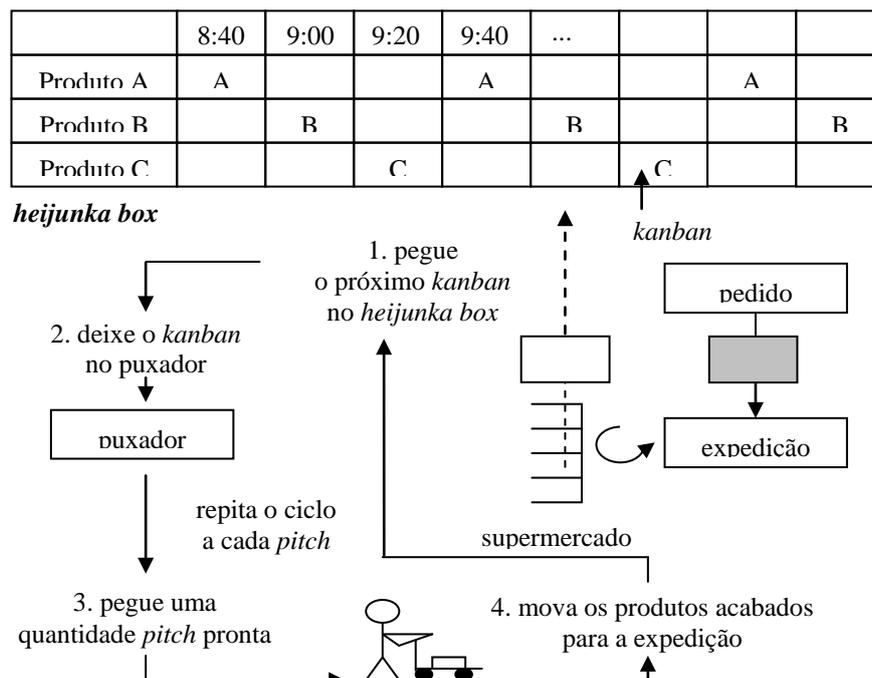


Figura 2 – O *heijunka box* e retirada compassada. Fonte: Rother e Shook (1999)

2.2. Simulação

2.2.1. Definição de Simulação

Para Banks (1998), a simulação é a utilização de modelos computacionais para a imitação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo e, sendo assim, envolve a criação de uma história artificial e a observação desta história para se fazer inferências sobre as características operacionais.

2.2.2. Principais vantagens da Simulação

Para Ryan e Heavey (2006), a simulação é uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas, devido principalmente à sua versatilidade, flexibilidade e, também, ao seu poder de análise. Já para Hillier e Lieberman (2010), a simulação é uma técnica extremamente versátil, podendo ser utilizada para investigar praticamente qualquer tipo de sistema estocástico. Ainda segundo os autores, tal versatilidade fez da simulação a técnica de pesquisa operacional mais utilizada em estudos que abordam sistemas estocásticos dinâmicos e complexos, tornando, praticamente impossível, enumerar todas as áreas nas quais ela vem sendo utilizada.

Para Law e Kelton (2000), possivelmente, uma das maiores vantagens da simulação seja a de proporcionar aos tomadores de decisões uma visualização completa do sistema, permitindo uma visualização dos resultados esperados antecipadamente à implementação.

Para Chwif e Medina (2010), a simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos simulados para responder questões como “o que ocorre se”.

2.2.3. A aplicação da Simulação à Produção Enxuta

Segundo Abdulmalek e Rajgopal (2007), a aplicação da simulação à produção enxuta acontece da seguinte maneira:

- primeiramente, faz-se a escolha da família de produtos (1ª etapa do VSM);
- em seguida, aplica-se software de simulação no desenho do mapa do estado atual, que deverá ser testado e ajustado várias vezes, até que represente, verdadeiramente, o sistema produtivo analisado (2ª etapa do VSM);
- então, simulam-se mapas do estado futuro a partir do mapa do estado atual, analisando-se resultados esperados e recursos exigidos pelos diferentes mapas, de tal maneira que seja possível apontar o mapa do estado futuro mais vantajoso (3ª etapa do VSM).

Outros trabalhos presentes na literatura destacam a utilização da simulação como ferramenta de apoio à implementação dos sistemas de produção enxuta nas empresas (DETTY e YINGLING, 2000; LIAN e VAN LANDEGHEM, 2002; MCDONALD *et al.*, 2002; MITTELHUBER *et al.*, 2002; SCHROER, 2004; HUANG e LIU 2005; DUANMU e TAAFFE, 2007).

3. Desenvolvimento da Metodologia de Integração “VSM-SIMULAÇÃO”

Chwif e Medina (2010) propõem um método de pesquisa em simulação em três fases: concepção; implementação; e análise dos resultados.

O método proposto por Chwif e Medina (2010) é apresentado na FIG. 3.



Figura 3 – Estrutura de pesquisa em simulação. Fonte: Chwif e Medina (2010)

Mas tal método será utilizado sob a ótica desenvolvida por Montevechi *et al.* (2010) (FIG. 4).

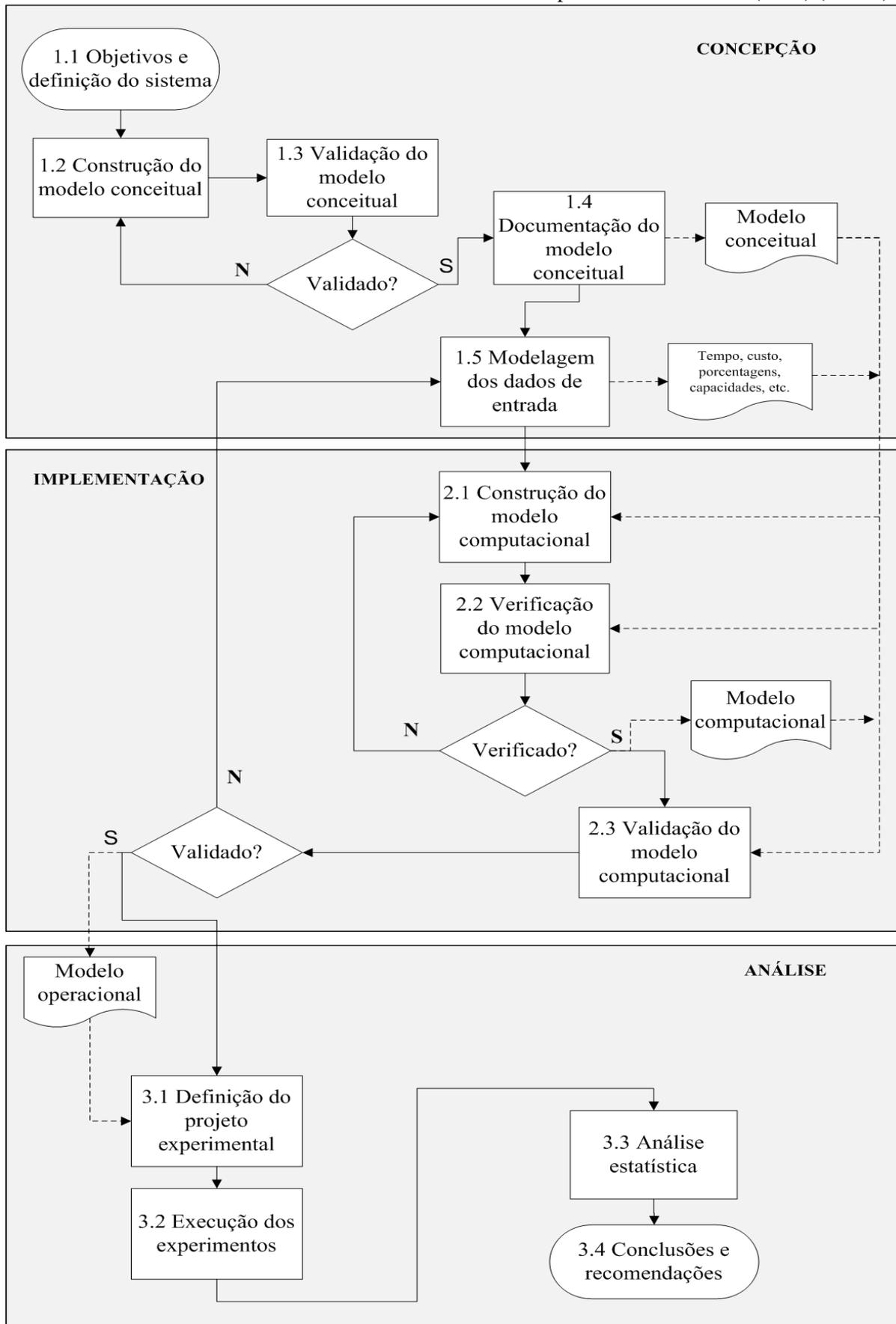


Figura 4 - Sequência de etapas para um projeto de simulação. Fonte: Montevechi *et al.* (2010)
Isto posto, na sequência são detalhadas as etapas da integração “VSM-SIMULAÇÃO”.

1. Concepção:

- 1.1. definição dos objetivos;
- 1.2. construção do modelo conceitual;
 - 1.2.1. escolha da família de produtos;
 - 1.2.2. desenho do mapa do estado atual;
 - 1.2.2.1. demanda por produto da família;
 - 1.2.2.2. capacidade dos recursos;
 - 1.2.2.3. disponibilidade dos recursos;
 - 1.2.2.4. tempo de *setup* em cada recurso;
 - 1.2.2.5. tempo de ciclo em cada recurso;
 - 1.2.2.6. programa de produção em cada recurso:
ou seja, a quantidade e tamanho dos lotes programados de cada produto;
 - 1.2.2.7. níveis de inventários:
de matérias primas; de produtos em elaboração; e de produtos acabados;
 - 1.2.2.8. se aplicáveis e necessários, outros dados do fluxo de materiais;
 - 1.2.2.9. se aplicáveis e necessários, outros dados do fluxo de informações;
 - 1.2.3. desenho do mapa do estado futuro – respostas às Questões-Chave do VSM:
Qual é o *tak time*, que alinhará a produção à demanda por turno?
Produzir para supermercado de produtos acabados ou expedição?
Onde será possível estabelecer um fluxo contínuo entre as operações?
E onde será necessário instalar sistemas puxados com supermercados?
Qual deverá ser o único ponto no fluxo de valor a ser programado?
Como nivelar o *mix* (ou variedade) de produção no processo puxador?
E como nivelar o nível (ou quantidade) de produção no processo puxador?
Por fim, onde será necessário a elaboração e a aplicação dos “Eventos *kaizens*”?
- 1.3. a validação do modelo conceitual construído;
- 1.4. a documentação do modelo conceitual validado;
- 1.5. e o levantamento e modelagem dos dados de entrada;
se desejável, tratamento estocástico – dados de 1.2.2.;

2. Implementação:

- 2.1. construção do modelo computacional:
 - 2.1.1. escolha do software de simulação;
 - 2.1.2. simulação do mapa do estado atual;
 - 2.1.3. simulação do mapa do estado futuro;
- 2.2. verificação *in loco* do modelo computacional;
- 2.3. e a validação face-a-face do modelo computacional;

3. Análise do modelo:

- 3.1. definição do projeto experimental:
fazer a integração VSM-SIMULAÇÃO;
- 3.2. execução dos experimentos:
equivale à simulação de vários outros mapas do estado futuro diferentes,
com o objetivo primordial de responder questões do tipo “o que ocorre se”.
- 3.3. análise estatística dos resultados;
- 3.4. e, finalmanete, as conclusões e as recomendações.

4. Aplicação Prática da Metodologia de Integração “VSM-SIMULAÇÃO”

O objetivo é aplicar a metodologia no exemplo mais utilizado para o ensino do VSM, ou seja, o exemplo da Estamparia ABC desenvolvido por Rother e Shook (1999) definido no manual utilizado mundialmente na disseminação e treinamento do VSM: o Manual “**Aprendendo a Enxergar**” (VER A SEÇÃO “**REFERÊNCIAS**”). Devido à limitação na quantidade de páginas por artigo, serão apresentados somente os resultados obtidos pela aplicação da metodologia, ficando, a demonstração

detalhada de cada etapa, para um trabalho futuro em periódico Qualis A ou B. As FIG. 5 e 6 apresentam os mapas dos estados atual e futuro desenvolvidos por Rother e Shokk (1999).

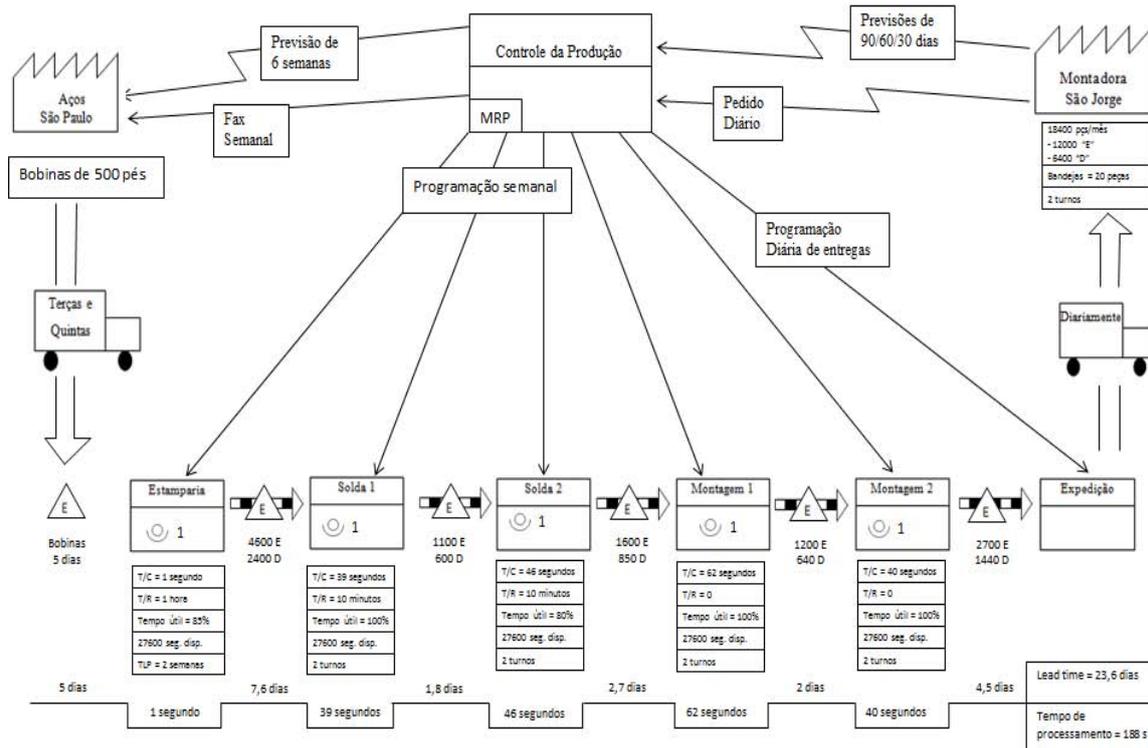


Figura 5 – Mapa do estado atual desenvolvido por Rother e Shook (1999)

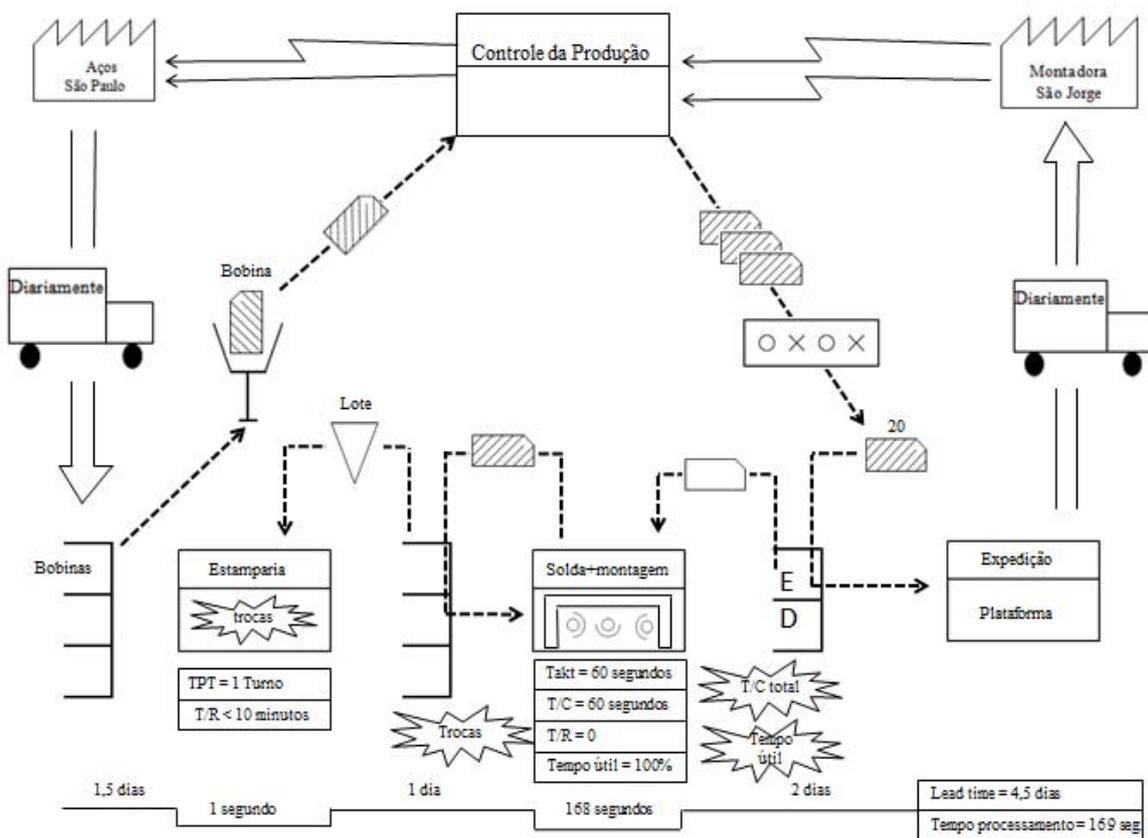


Figura 6 – Mapa do estado futuro desenvolvido por Rother e Shook (1999)

As simulações dos mapas dos estados atual e futuro foram feitas da seguinte maneira:

- cada processo foi representado a partir de um local;
- foram também construídos locais destinados aos estoques entre os processos;
- o processamento das entidades foi feito na sequência do fluxo de material representado no mapa do estado atual, com tempos de ciclo determinísticos correspondentes a cada processo;
- cada operador foi representado por um recurso, os quais executavam suas tarefas em caminhos próximos aos locais, exceto o movimentador de materiais, cujo caminho conectava os processos;
- o movimentador de materiais move as peças em lotes entre processos consecutivos;
- foram criadas variáveis para se medir os tempos de processamento, os níveis de inventário entre os processos e o lead time;
- a simulação foi feita de acordo com o tempo de produção mensal, para comparação adequada à demanda: 20 dias distribuídos em 4 semanas, sendo 2 turnos por dia e com os intervalos pré-estabelecidos.

As FIG. 7 e 8 apresentam as simulações dos mapas dos estados atual e futuro.

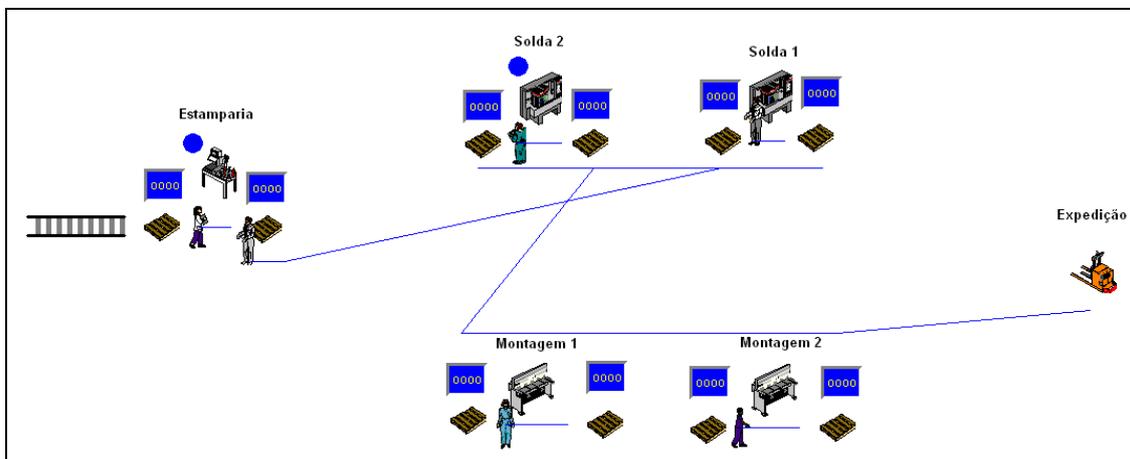


Figura 7: Modelo computacional do mapa do estado atual da Empresa ABC

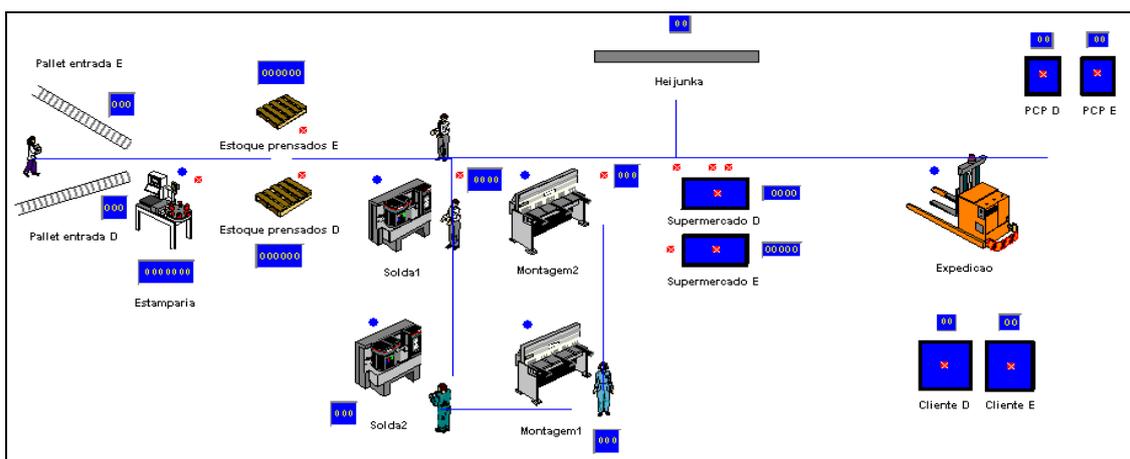


Figura 8: Modelo computacional do mapa do estado futuro da Empresa ABC

Já as FIG. 9 e 10 apresentam dados dos relatórios gerados pelo software após as simulações dos mapas dos estados atual e futuro.

Sumário de Variáveis						
Nome	Total de Mudanças	Tempo Médio entre Mudanças (Seg)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Atual	Valor Médio
est pre sold1	25.837,00	5.149,60	0,00	12.579,00	4.463,00	8.222,62
est pos sold1	27.508,00	4.836,78	0,00	1.712,00	36,00	50,60
est pre sold2	20.130,00	6.609,60	0,00	7.373,00	7.342,00	4.552,89
est pos sold2	22.530,00	5.905,51	0,00	2.452,00	7,00	50,44
est pre mont1	17.111,00	7.775,76	0,00	5.537,00	5.412,00	3.860,25
est pos mont1	18.914,00	7.034,52	0,00	1.850,00	27,00	50,26
est pre mont2	18.828,00	7.066,66	0,00	1.825,00	59,00	170,10
est pos mont2	22.781,00	5.840,43	0,00	18.400,00	4.380,00	9.086,66
Produtos expedidos	1,00	96.100.152,00	0,00	18.400,00	18.400,00	5.110,18
estoque pre prensa	460,00	270.645,03	0,00	45,00	0,00	0,07
estoque pos prensa	30.300,00	4.108,94	0,00	7.000,00	0,00	2,98
Lead time	1,00	133.052.400,00	0,00	23,62	23,62	0,00

Figura 9 - Relatório gerado pelo software após a simulação do mapa do estado atual

General Report (Baseline - Rep. 1)								
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Location Setup	Resources	Resource States	Entity Activity	Entity Stat
Lean Promodel VALIDADO.MOD (Baseline - Rep. 1)								
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value		
contadorspc	20240,00	1,82	0,00	1000,00	920,00	950,43		
estoquemp	389,00	94,66	0,00	2800,00	1900,00	1314,43		
estoqueprensados	20241,00	1,82	0,00	980,00	900,00	930,43		
estoqueprodutosacabados	20700,00	1,79	0,00	1840,00	1380,00	1555,45		
produtosexpedidos	920,00	40,11	0,00	18400,00	18400,00	8990,47		
leadtime	1,00	36960,00	0,00	4,54	4,54	0,00		

Figura 10 - Relatório gerado pelo software após a simulação do mapa do estado futuro

A partir destes relatórios, foi possível constatar a precisão do modelo computacional em relação aos mapas dos estados atual e futuro, tendo em vista que os *lead times* calculados pelo software foi de 23,62 e 4,54 dias, valores consideravelmente próximos aos *lead times* de 23,6 e 4,5 dias indicados pelos mapas dos estados atual e futuro desenvolvidos por Rother e Shokk (1999) e apresentados nas FIG. 5 e 6. Portanto, os modelos computacionais são considerados validados.

O mapa do estado futuro da Empresa ABC criado por Rother e Shook (1999) parte do pressuposto de que os tempos de troca dos processos Solda I e Solda II serão reduzidos a 0, e de que as confiabilidades dos equipamentos serão de 100%. No entanto, tais valores ideais dificilmente serão atingidos na prática. Portanto, serão simulados cenários futuros alterando-se:

- 1) os tempos de troca (*setup*);
- 2) a confiabilidade dos processos.

A seguir, a TAB. 1 apresenta 4 modelos alternativos de mapas do estado futuro e seus respectivos valores de tempos de setup e de confiabilidades.

Mapas	Setup Solda 1 [min.]	Setup Solda 2 [min.]	Confiabilidade Estamparia	Confiabilidade Solda 2
Original	0	0	100%	100%
Mapa 1	10	10	85%	80%
Mapa 2	5	5	85%	80%
Mapa 3	5	5	95%	95%
Mapa 4	1	1	99%	99%

Tabela 1 - Simulação de modelos alternativos de mapas do estado futuro da Empresa ABC

Com a simulação dos Mapas 1, 2, 3 e 4, houve mudanças no resultado da quantidade de produtos expedidos e do *lead time*. A TAB. 2 apresenta os resultados gerados pelo Promodel.

Mapas	Produtos expedidos [unidades]	Lead Time [dias]
Original	18400	23,62
Mapa 1	10120	12,48
Mapa 2	13800	8,57
Mapa 3	15040	7,28
Mapa 4	18400	5,04

Tabela 2 - Resultados da simulação de modelos alternativos de mapas do estado futuro da Empresa ABC

4. Conclusões

A simulação é uma alternativa à interferência no sistema real, evitando, assim, os custos devidos à experimentação e à interrupção do fluxo de produção. Possivelmente, uma das maiores vantagens da simulação seja a de proporcionar aos tomadores de decisões uma visualização completa do sistema, permitindo uma visualização dos resultados esperados antecipadamente à implementação. Ademais, a simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos simulados para responder questões como “o que ocorre se”. Duas razões principais justificam a aplicação da simulação à produção enxuta: a) facilitar a quebra de barreiras culturais e a disseminação da Cultura *Lean* na empresa, ao possibilitar a visualização antecipada e detalhada dos resultados esperados em cada estado futuro simulado; b) quantificar o desempenho dos sistemas produtivos enxutos e compará-lo com o desempenho de outros sistemas produtivos presentes nas empresas há tempos, destacando suas vantagens e limitações. Porém, embora a simulação seja uma ferramenta promissora na disseminação da Cultura *Lean* e na aplicação do VSM, estudos recentes mostram que a integração “VSM-SIMULAÇÃO” ainda é bem pouco utilizada e aproveitada pelas empresas. Uma das causas é a falta de uma metodologia que oriente e auxilie a integração e a aplicação destas ferramentas ao planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta. Sendo assim, esta pesquisa desenvolveu uma metodologia para eliminar tal problema, e demonstrou que a integração “VSM-SIMULAÇÃO” não é apenas possível, mas, principalmente, vantajosa e recomendada como metodologia de planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio ao longo da pesquisa.

Referências

- Abdulmalek, F. A.; Rajgopal, J.** Analyzing the benefits lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of Production Economics*, v.107, n.1, p.223-236, 2007.
- Banks, J.** *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- Chu, C. H.; Shih, W. L.** Simulation studies in JIT production. *International Journal of Production Research*, v.30, n.11, p.2573-86, 1992.
- Chwif, L.; Medina, A. C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 2ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.
- Demeter, K.; Matyusz, Z.** The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, v.133, n.1, p.154-163, 2011.
- Detty, R.B. E Yingling J.C.** Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study. *International Journal of Production Research*. v.38, n.2, pp.429-45 2000.
- Duanmu, J.; Taaffe, K.** Measuring manufacturing throughput using takt time analysis and simulation, In: *PROCEEDINGS OF THE 2001 WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Washington, DC, USA, 2007.
- Emiliani, M.L.** Origins of lean management in America: the role of Connecticut businesses. *Journal of Management History*, v.12, n.2, p.167-184, 2006.
- Eroglu, C.; Hofer, C.** Lean, learner, too lean? The inventory-performance link revisited. *Journal of Operations Management*, v.29, n.4, p.356-369, 2011.
- Farris, J. A. et al.** Critical success factors human resource outcomes in kaizen events: an empirical study.

- International Journal of Production Economics*, v.117, n.1, p.42-65, 2009.
- Ghinato, P.** Autonomia e multifuncionalidade no trabalho. In: *Série monográfica ergonomia: ergonomia de processo*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. Cap. 4.1.
- Glover et al.** Critical success factors for sustainability of kaizen event human resource outcomes: an empirical study. *International Journal of Production Economics*, v.132, n.2, p.197-213, 2011.
- Gurumurthy, A.; Kodali, R.** Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.22, n.4, p.444-473, 2011.
- Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.** *Introduction to Operations Research*. 9ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- Holweg, M.** The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, v.25, n.2, p.420-437, 2007.
- Huang, C.C. Liu, S.H.** A novel approach to lean control for Taiwan-funded enterprises in mainland China. *International Journal of Production Research*, v.43, n.12, pp.2553-75, 2005.
- Hüttmeir, A. et al.** Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*, v.118, n.2, p.501-507, 2009.
- Lage JR, M.; Godinho Filho, M.** Variations of the kanban system: literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, v.125, n.1, p.13-21, 2010.
- Law, A. M.** How to build valid and credible simulation models. In: *PROCEEDINGS OF THE 2001 WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Austin, TX, USA, 2009.
- Law, A. M.; Kelton, W. D.** *Simulation modeling and analysis*. 3ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- Lian, Y.; Van Landeghem, H.** An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing. In: Verbraeck, A. and Krug, W. (Eds), *PROCEEDINGS 14th EUROPEAN SIMULATION SYMPOSIUM: Simulation in Industry*, Dresden, Germany, 2002.
- Marksberry, P.; et al.** Management directed kaizen: Toyota's Jishuken process for management development. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.21, n.6, p.670-686, 2010.
- MCDonald, T., Van Aken, E.M.; Rentes, A.F.** Utilizing simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v.5, n.2, p.213-32, 2002.
- Mittelhuber, B., Löffler, B.; Langsdorff, P.V.** Simulation-based value stream mapping. *Industrie Management*, v.18 n.1, p.44-7, 2002.
- Montevecchi, J. A. B. et al.** Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: *PROCEEDINGS OF THE 2001 WINTER SIMULATION CONFERENCE*. Baltimore, MD, USA, 2010.
- Ohno, T.** *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- Queiroz, J. A.** Produção enxuta: uma síntese dos aspectos teóricos e práticos. In: *Anais do XXXI ENEGEP*. Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.
- Queiroz, J. A.; Rentes, A. F.** Contabilidade de custos versus contabilidade de ganhos: respostas às exigências da produção enxuta. *Gestão e Produção*, v.17, n.2, p.377-388, 2010.
- Rother, M.; Shook, J.** *Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.
- Ryan, J.; Heavey, C.** Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, v.57, n.5, p.437-450, 2006.
- Sandanayake, Y. G.; Oduoza, C. F.; Proverbs, D. G.** A systematic modelling and simulation approach for jit performance optimisation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, n.24, p.735-743, 2008.
- Sargent, R. G.** Verification and validation of simulation models. In: *PROCEEDINGS OF THE 2001 WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Austin, TX, USA, 2009.
- Saurin, T. A.; Ribeiro, J. L. D.; Marodin, G. A.** Identificação de oportunidades de pesquisa a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta em empresas do Brasil e do exterior. *Gestão e Produção*, v.17, n.4, p.829-841, 2010.
- Schroer, B. J.** Simulation as a tool in understanding the concepts of lean manufacturing. *Simulation*, v.80, n.3, p. 171-175, 2004.
- Shah, R.; Ward, P. T.** Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, v.25, n.4, p.785-805, 2007.
- Vinodh, S.; Arvind, K. R.; Somanaathan, M.** Application of value stream mapping in an Indian camshaft manufacturing organization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.21, n.7, p.888-900, 2010.